

# Projeto Rondon: um Rádio Definido por *Software* Genuinamente Brasileiro

Bruno de Pinho Silveira, Cap QEM/ELO  
Renato Henrique Guimarães Dias, Cap QEM/COM  
George Souza Costa, 1º Ten QEM/ELO

Indústria de Material Bélico do Brasil / Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica  
Rua Monsenhor Manoel Gomes, 520 – Caju – Rio de Janeiro, RJ – CEP: 20.931-670

**Resumo** — O artigo tem por finalidade apresentar o Projeto Rondon. Este projeto, desenvolvido pela Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica da Indústria de Material Bélico do Brasil em parceria com o Genius Instituto de Tecnologia, consiste no desenvolvimento de um Rádio Definido por *Software*. A concepção de um RDS consiste na substituição dos módulos de *hardware* por *software*, tornando o rádio bastante flexível, aumentando sua empregabilidade. Outras vantagens podem ser obtidas indiretamente com esta substituição, como o aumento da autonomia da bateria e a diminuição do peso, particularmente interessante nos rádios do tipo *manpack* militar, ou seja, aqueles destinados a serem portáteis, carregados por tropas a pé. A tecnologia RDS ainda é algo novo e, particularmente no Brasil, poucas instituições dedicam-se a ela. Idealmente, ter-se-ia uma arquitetura única, digital, responsável por todo o processamento de sinais do rádio, desde os sinais de rádio-frequência até os sinais de controle. Devido à complexidade de implementação de tal solução, principalmente, por utilizar frequências elevadas, o Projeto Rondon propõe, num primeiro estágio, desenvolver uma arquitetura híbrida, ou seja, uma plataforma de rádio-frequência e outra destinada ao controle, gerência e configurações do rádio.

**Palavras-chaves** — Projeto Rondon, Rádio Definido por *Software*, rádio frequência, *front-end*, militar.

## I. INTRODUÇÃO

Um rádio é um sistema de comunicação sem fio que transmite a informação através da propagação das ondas eletromagnéticas pelo espaço. Existe uma grande diversidade de tipos de rádios, caracterizados, por exemplo, pelas frequências de operação, técnicas de modulação, codificação da informação e protocolos. Nota-se, entretanto, que apesar desta diversidade, a comunicação rádio apresenta duas características principais: mobilidade e capacidade de formação de redes.

*Software* é um conjunto de programas e dados manipulados por um processador computacional, com o objetivo de controlar o comportamento e o estado de determinado equipamento ou sistema. Utilizando esses dois conceitos, a Fábrica de Material de Comunicações e Eletrônica (FMCE) da Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL), em parceria com o Genius Instituto de Tecnologia (GIT), vem desenvolvendo o Projeto Rondon de um Rádio Definido por *Software* (RDS), uma tecnologia bastante atraente para o emprego militar.

Os conceitos de RDS fundamentam-se na adaptabilidade do *software* e na plataforma de *hardware* aberta. Desta maneira, busca-se a interoperabilidade entre as diversas tecnologias, quer sejam elas novas ou aquelas em evolução [1], descartando-se a fase de reavaliação do projeto original. Permite-se, portanto, alta flexibilidade de soluções com benefícios para os operadores e fabricantes do equipamento rádio.

A concepção de um RDS é, portanto, a de um rádio cognitivo. Alterando-se alguns parâmetros de transmissão e/ou recepção, é possível comunicar-se de maneira eficiente, evitando interferências, através da reconfiguração da rede rádio. A alteração desses parâmetros é baseada na monitoração constante de diversos fatores nos ambientes interno e externo ao rádio, como o espectro de frequências e as características da missão, por exemplo. Resumidamente, um RDS tem a arquitetura definida conforme a Fig. 1 [1].



Fig. 1: Arquitetura resumida de um RDS [1].

O bloco “Controle” contém as diretivas para os componentes individuais do equipamento, responsáveis por executar operações do sistema, como aumentar o volume, mudar a frequência de operação e selecionar o tipo de antena. Os outros blocos descrevem o fluxo da informação contida no sinal de rádio. Na recepção, o bloco “Processamento de RF” faz a demodulação do sinal recebido e o transforma numa representação digital da informação. O bloco “Segurança” corresponde aos complexos algoritmos de criptografia, e é opcional. Finalmente, o bloco “Processamento da Informação e E/S” tem função semelhante a dos computadores convencionais, e viabiliza interfaces com periféricos locais, por exemplo, discos e impressoras.

Este artigo tem por finalidade apresentar o projeto de um RDS, intitulado Projeto Rondon, que está sendo desenvolvido pela IMBEL/FMCE em parceria com o GIT. Nas seções seguintes, serão apresentadas a arquitetura do rádio e suas funcionalidades. Dar-se-á ênfase à parte de rádio frequência (RF), de responsabilidade da IMBEL/FMCE.

## II. PROJETO RONDON

Idealmente, um RDS consiste num rádio cujos módulos de *hardware* são substituídos por *software*. Desta maneira, a modulação/demodulação, a síntese de frequências, a geração da frequência intermediária (FI), as filtragens, etc passam a ser processadas digitalmente. Do ponto de vista da recepção, um RDS recebe o sinal de RF da antena e o digitaliza imediatamente, sem passar por estágios intermediários. De maneira semelhante, ocorre na transmissão. A substituição dos módulos de *hardware* por *software* visa reduzir custos e consumo, dar maior flexibilidade na implementação de novas funcionalidades, diminuir o tamanho e o peso e facilitar a manutenção e atualização do equipamento. Entretanto, a completa substituição não é tarefa trivial, tendo em vista limitações de tecnologia, principalmente quando se trabalha com sinais com frequência muito elevadas. Assim, o Projeto Rondon propõe uma arquitetura mista, envolvendo um tratamento prévio do sinal de RF que será entregue à plataforma de processamento digital de sinais.

A arquitetura básica do Projeto Rondon é composta por três estágios distintos: “Alto Nível” (gerenciamento e controle), “Processamento Digital de Sinais” (modulação/demodulação) e “Front-end” (RF). A Fig. 2 ilustra o sistema.

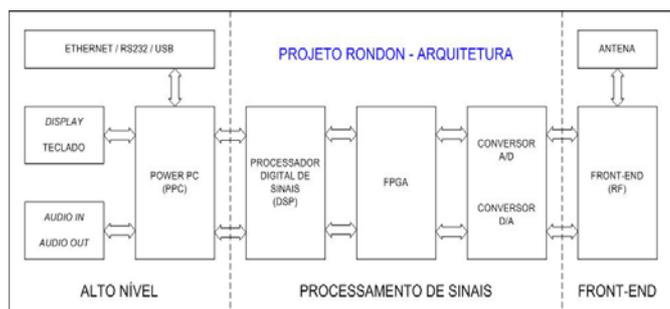


Fig. 2: Arquitetura básica do Projeto Rondon.

O estágio de “Alto Nível” é responsável pelo gerenciamento do rádio, feito pelo processador PowerPC®. Suas principais funções são:

- gerenciar a interface com o usuário, através das APIs (*Application Programmable Interfaces*) de controle do *display* e teclado;
- controlar as portas USB, *Ethernet* e RS232;
- configurar o rádio, através das portas de configuração (a configuração é gerada de acordo com a forma de onda);
- receber um sinal de áudio, tratá-lo (criptografia, protocolos) e enviá-lo para o DSP (*Digital Signal Processor*);
- receber um sinal de áudio do DSP, enviá-lo para as saídas de áudio e tratá-lo (protocolos ou criptografias); e
- receber/enviar dados.

O estágio de “Processamento de Sinais” é responsável pelos algoritmos de processamento de sinal (modulação e demodulação). Basicamente, estes algoritmos serão processados pelo DSP Blackfin 561®, cujas funções básicas são:

- modular/demodular sinais digitais e analógicos;
- executar códigos corretores de erros; e
- efetuar sincronização e equalização.

Outra parte importante do processamento digital é a mudança de taxas (*up/down conversion*) que será realizada pelo FPGA (*Field Programmable Gate Array*).

Finalmente, o estágio de “*Front-end*” é responsável pelo processamento do sinal de RF e frequência intermediária (FI) do sistema. Sua arquitetura interna contém um microprocessador MSP430F1611® que possui as seguintes funções:

- executar o controle automático de ganho (CAG);
- executar parte do algoritmo de salto em frequência;
- programar as frequências do DDS (*Direct Digital Synthesizer*);
- gerenciar o módulo de RF.

## III. FRONT END

O *Front-End* é a estrutura responsável por amplificar, de forma controlável e sem introduzir harmônicos, o sinal recebido do acoplador de antenas e convertê-lo para uma FI que será tratada pela plataforma de processamento de sinais, quando em recepção. Em transmissão, esse mesmo circuito é responsável por converter a FI recebida do estágio de Processamento de Sinais no sinal de RF desejado, sem subprodutos de conversão, além de amplificá-lo de forma controlável. Neste bloco, existe ainda a presença de um amplificador de potência, cuja análise está fora do escopo deste trabalho.

O circuito de RF, composto por duas placas (PAS, Placa Amplificador / Seletor e PCSI, Placa Conversor / Sintetizador / Interface), foi projeto para funcionar na faixa de 0,1 MHz a 520 MHz, sendo dividido em 5 faixas, conforme descrito na Tabela 1. A Fig. 3 apresenta o diagrama em blocos do *Front End* atual.

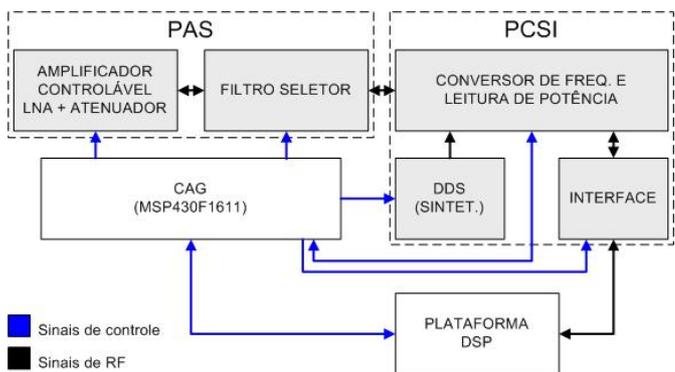


Fig. 3: Diagrama em blocos do *Front End* atual.

TABELA 1: Faixas de frequência de operação do Projeto Rondon

Faixa do Projeto	Frequência	Faixa ITU-T
HF	0,1 MHz – 30 MHz	MF/HF

Faixa do Projeto	Frequência	Faixa ITU-T
VHF1	30 MHz – 108 MHz	VHF
VHF2	108 MHz – 280 MHz	VHF
UHF1	280 MHz – 420 MHz	VHF/UHF
UHF2	420 MHz – 520 MHz	UHF

A. PAS – Placa Amplificador/ Seletor

A Placa PAS é composta por um amplificador controlável e por um filtro seletor. O primeiro bloco contém um amplificador de baixo ruído (LNA, *Low Noise Amplifier*) seguido por um atenuador variável. Esta configuração permite combinar ganhos e atenuações de maneira que o sinal excursiona numa faixa de potência previamente determinada.

O LNA possui a seguinte estrutura:

- limitador de potência: proteção para sinais de recepção com potência acima de +10 dBm;
- filtro passa-baixa (LPF) com frequência de corte  $f_c = 530$  MHz: atenuação dos sinais fora da faixa de operação do rádio;
- amplificação: ganhos distintos para transmissão e recepção:
  - o 52 dB em RX;
  - o 26 dB em RX;
  - o 26 dB em TX; e
  - o *by-pass* bidirecional, formado por um filtro passa-baixa com  $f_c = 530$  MHz.

O atenuador variável, por sua vez, é capaz de atenuar em até 31 dB o sinal, com passos de 1 dB. Todo o chaveamento do bloco é feito através de chaves eletrônicas, controladas por sinais digitais. A Fig. 4 mostra o diagrama em blocos do amplificador controlável.

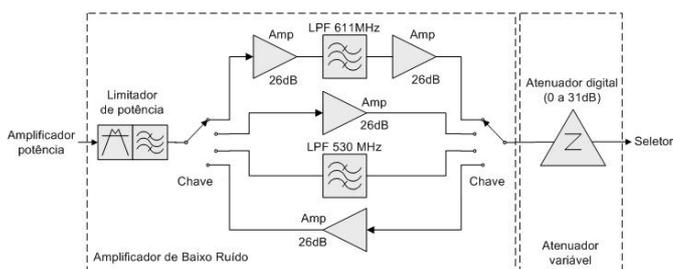


Fig. 4: Diagrama em blocos do amplificador controlável (PAS).

Finalmente, o seletor é composto por um banco de 16 filtros elípticos, passa-baixa e passa-banda. As estruturas foram divididas de forma que os 2º e 3º harmônicos da frequência de operação do rádio, que estejam dentro da faixa de 108 MHz a 520 MHz, sejam atenuados em pelo menos 50 dB e todos os sinais da FI sejam atenuados em pelo menos 40 dB, quando em transmissão.

A Fig. 5 mostra o diagrama em blocos do seletor.

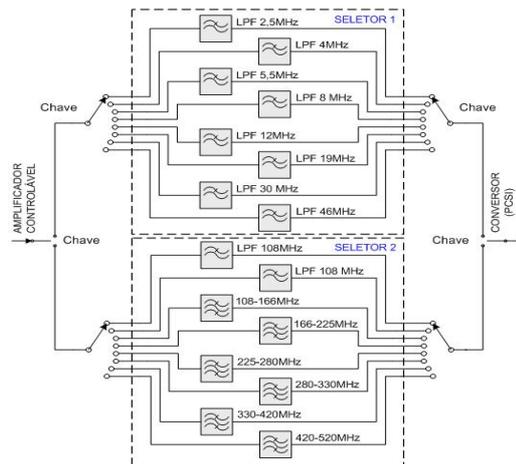


Fig. 5: Diagrama em blocos do seletor (PAS).

B. PCSI – Placa Conversor/Sintetizador/Interface

A Placa PCSI é composta por 2 blocos: conversor de frequências e interface com a plataforma de processamento digital de sinais. O primeiro bloco contém o sintetizador, os misturadores (*mixers*), os filtros de FI e a leitura de potência, cujo valor é repassado para o CAG. A Fig. 6 apresenta o diagrama em blocos do conversor de frequências.

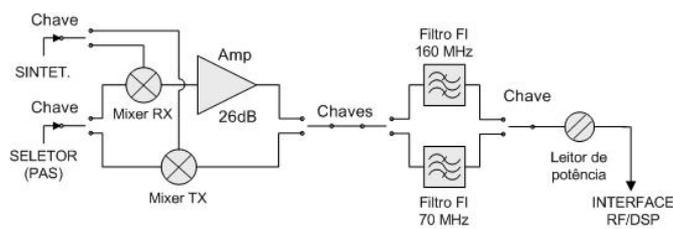


Fig. 6: Diagrama em blocos do conversor de frequências (PCSI).

A conversão de frequências, formada por dois *mixers* passivos, tem por objetivo levar o sinal de RF para uma das duas frequências de FI (70 ou 160 MHz), em recepção, e realizar a operação inversa na transmissão, com o sinal recebido da plataforma de processamento digital de sinais. Ambos os *mixers* utilizam o sinal do sintetizador, programado pelo MSP430F1611®. Os filtros de FI são de banda estreita e visam garantir o melhor sinal possível para digitalização. Nesta fase, também é feita a leitura de potência do sinal, através de um conversor A/D. Esse valor de tensão DC proporcional à leitura feita é repassado ao MSP430F1611®, que irá habilitar os caminhos de amplificação no LNA e as atenuações necessárias no atenuador variável.

Na transmissão, o bloco de interface (Fig. 7) funciona como *bypass*, levando o sinal do DSP diretamente para o conversor de frequências. Na recepção, a interface prepara o sinal de FI para a plataforma de processamento digital de sinais, realizando as seguintes operações:

- amplificação de 40 dB (2 estágios de 20 dB cada) ao sinal de FI e filtragem passa-baixa com  $f_c = 216$  MHz, para retirar os harmônicos da FI gerados na primeira amplificação;

- filtragem passa-baixa com  $f_c = 216$  MHz, para retirar os harmônicos da FI de 160 MHz gerados na segunda amplificação;
- filtragem passa-baixa com  $f_c = 100$  MHz, para retirar os harmônicos da FI de 70 MHz gerados na segunda amplificação;
- conversão *single-ended*/diferencial.

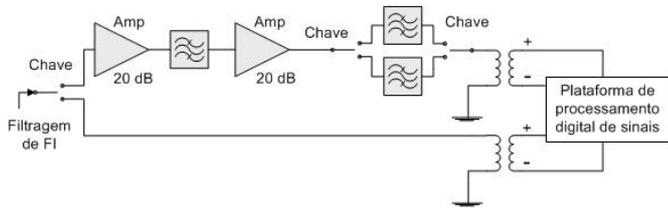
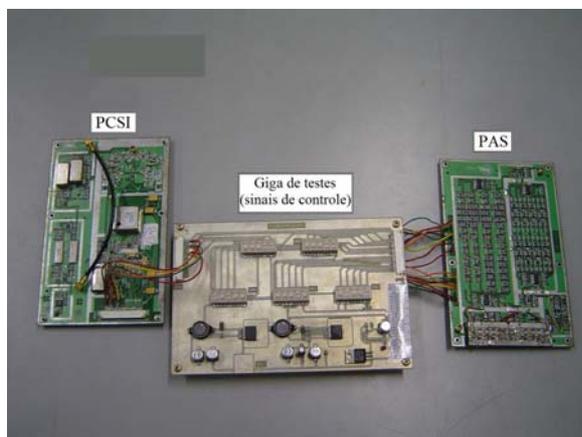


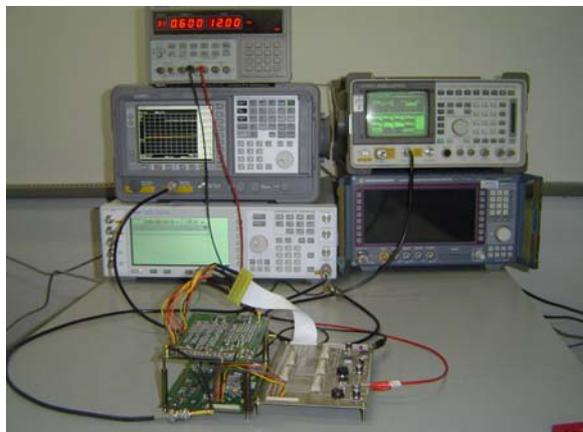
Fig. 7: Diagrama em blocos da interface RF/DSP (PCSI).

### C. Simulações

O hardware do *front-end* é apresentado na Fig. 8.

Fig. 8: Hardware do *Front-end* do Projeto Rondon (RDS).

Para exemplificar, são apresentadas duas situações particulares, conforme descrito a seguir. O *setup* de testes, ilustrado na Fig. 9, foi montado utilizando dois geradores de sinais (Agilent E4438C e Agilent 8920B), um analisador de espectro (Agilent E4402B) e uma fonte DC.

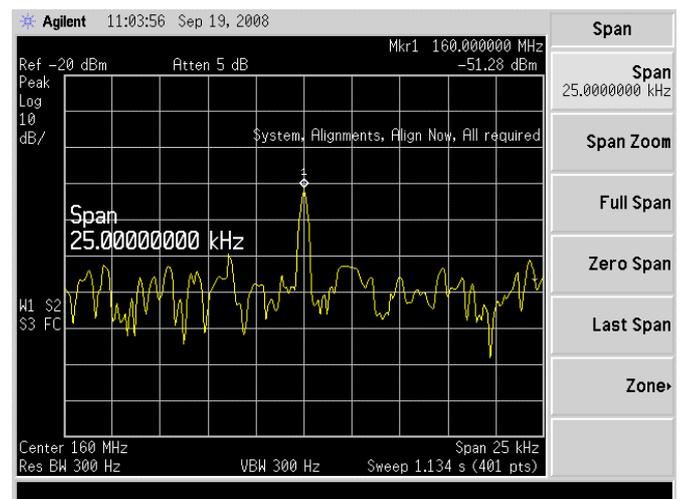
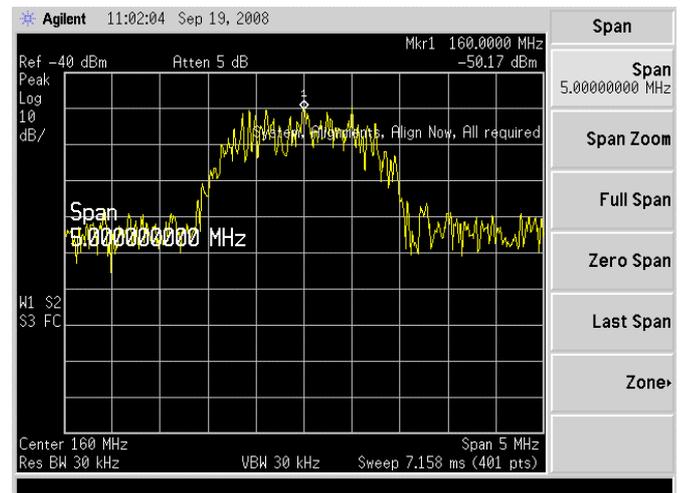
Fig. 9: Setup montado na FMCE/IMBEL para testes no *Front-End*.

#### 1ª Situação

Na 1ª situação, foram utilizados os seguintes dados:

- Frequência do sinal de entrada: 30 MHz;
- Potência do sinal de entrada: -100 dBm;
- Sem modulação;
- Caminho de RX com ganho máximo no LNA (aproximadamente, +50 dB).

As Fig. 10, 11 e 12 apresentam as telas do analisador de espectro com os resultados obtidos para esta configuração. Primeiramente, nota-se que o sinal obtido, após passar por todo o circuito do *Front-End*, está representado em uma das FI (160 MHz) utilizadas na conversão de frequências. O nível de sinal é suficiente para a plataforma de processamento de sinais, conforme os requisitos do projeto.

Fig. 10: Analisador de espectro configurado com *Span* de 25kHz, para um sinal de entrada com potência de -100 dBm, sem modulação.Fig. 11: Analisador de espectro configurado com *Span* de 5MHz, para um sinal de entrada com potência de -100 dBm, sem modulação.

Variando-se o *span* (25 kHz, 5MHz e 20MHz), é possível ver que o espectro encontra-se relativamente limpo, ou seja, os blocos de filtragem (seletor e filtragem de FI) foram eficientes. Particularmente, nas Fig. 11 e 12, pode-se concluir que a largura de banda do filtro de FI utilizado gira em torno de 1 MHz. Esta banda foi escolhida para que o *Front-End* pudesse atender a determinados requisitos operacionais.

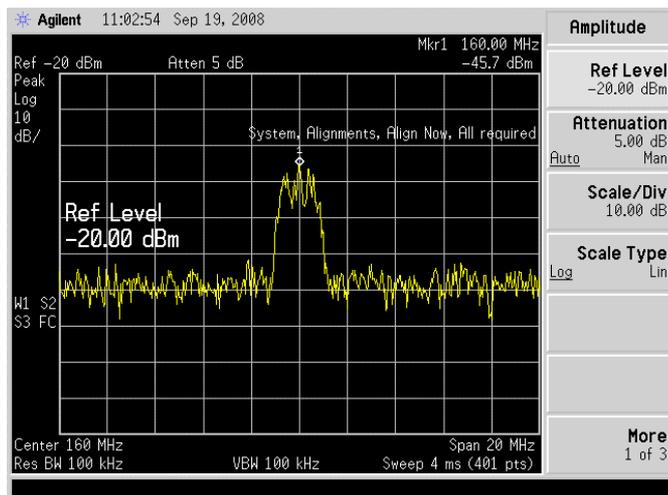


Fig. 12: Analisador de espectro configurado com *Span* de 20MHz, para um sinal de entrada com potência de -100 dBm, sem modulação.

## 2ª Situação

Na 2ª situação, foram utilizados os seguintes dados:

- Frequência do sinal de entrada: 30 MHz;
- Potência do sinal de entrada: -80 dBm;
- Modulação em frequência (FM), com desvio em frequência ( $\Delta$ ) de 3kHz e sinal modulante com frequência de 1kHz;
- Caminho de RX com ganho máximo no LNA (aproximadamente, +50 dB).

As Fig. 13 e 14 apresentam os resultados obtidos para esta configuração. Novamente, nota-se que o sinal obtido está representado em uma das FI (160 MHz) utilizadas na conversão de frequências e que o nível de sinal é suficiente para a plataforma de processamento de sinais.

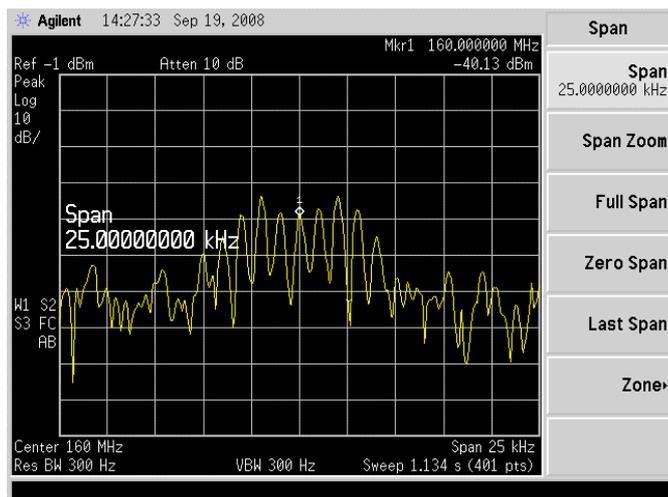


Fig. 13: Analisador de espectro configurado com *Span* de 25kHz, para um sinal de entrada com potência de -80 dBm, com modulação em frequência.

Ajustando-se o *span*, em 25 kHz e 100 kHz, conforme apresentado nas Fig. 13 e 14, respectivamente, é possível ver que o espectro encontra-se relativamente limpo dentro do canal de FM e numa banda equivalente a 4 vezes a largura de banda do canal.

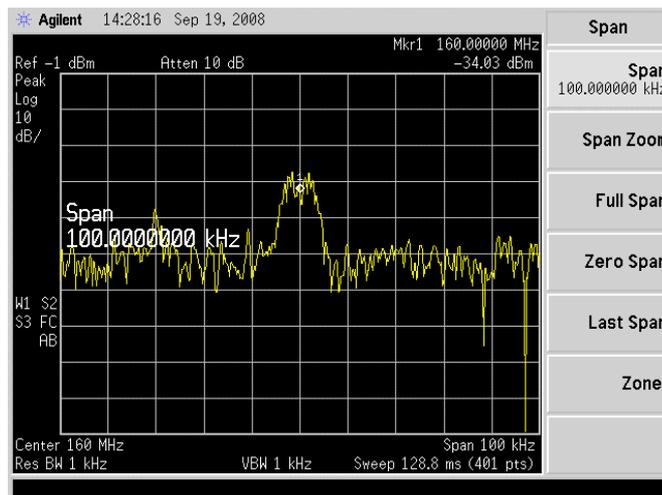


Fig. 14: Analisador de espectro configurado com *Span* de 100kHz, para um sinal de entrada com potência de -80 dBm, com modulação em frequência.

## IV. CONCLUSÕES

O artigo apresentou, de maneira simples, o Projeto Rondon de um Rádio Definido por *Software* (RDS), que vem sendo desenvolvido pela FMCE/IMBEL, em parceria com o Genius Instituto de Tecnologia (GIT).

Optou-se, em fazer, num primeiro estágio, um tratamento preliminar do sinal de RF, através do *Front-End*, conforme descrito no texto. Após as devidas ampliações, filtragens e conversões de frequência o sinal, finalmente, entra no circuito de interface com a plataforma de processamento digital de sinais, desenvolvida pelo GIT.

O Projeto Rondon encaixa-se no contexto de Guerra Eletrônica por ser um rádio multibanda e altamente flexível. Nele, podem ser implementadas diversas formas de onda, desde as previstas nas normas militares (MIL-STD e STANAG) até aquelas particulares, criadas pelo usuário. Sua concepção leva em consideração as funcionalidades de um sistema baseado em *software*, possibilitando, portanto, que outros algoritmos, possam ser inseridos em sua plataforma, como, por exemplo, um algoritmo classificador de modulações.

Atualmente, o projeto encontra-se em fase de integração com o GIT. Paralelamente a isso, outras tarefas estão sendo desenvolvidas: melhoria da sensibilidade do *Front-End*, junção e otimização de seus circuitos em uma única placa, visando diminuir o volume, o peso e o consumo finais do rádio e a melhoria do circuito no tocante às modulações digitais.

B. P. Silveira, pinho.fmce@imbel.gov.br, R. H. G. Dias, guimaraes.fmce@imbel.gov.br, G. S. Costa, costa.fmce@imbel.gov.br, Tel +55-21-2580-9868, ramal 2042, Fax +55-21-2580-9868. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FINEP, através do Projeto No. 1347/07.

## REFERÊNCIAS

- [1] SDR Forum's Website, <http://www.sdrforum.org>, acessado em 13 de Maio de 2008.
- [2] Documentação gerada internamente à FMCE/IMBEL e GIT.